

ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ ОСАДКЕ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРОВ

В. А. ОГОРОДНИКОВ, В. Д. ДЕЛЬ

(Представлена научным семинаром лаборатории пластических деформаций)

Анализ деформированного состояния при осадке полых цилиндров представляет теоретический и практический интерес. Знание деформаций необходимо для рационального построения данной технологической операции. Л. А. Шофман [1] изучал положение условной поверхности раздела течения в зависимости от геометрии образца и степени деформации. Другое решение рассматриваемой задачи получено в работе И. Я. Тарновского с сотрудниками [2]. А. В. Алтыкис исследовал затекание внутренней полости при осадке полых цилиндрических поковок [3]. Однако в известной нам литературе не содержится сведений о распределении деформаций при осадке полых цилиндров в зависимости от ряда технологических факторов.

Целью данной работы является исследование деформированного состояния при осадке полых цилиндров.

Для исследования деформированного состояния использовался метод измерения твердости. Этот метод, нашедший широкое применение при исследовании ряда технологических задач [4, 5, 6, 7], позволяет определять деформированное состояние при осадке, не нарушая сплошности исследуемых образцов в процессе деформирования.

Для исследования деформированного состояния измерением твердости необходимо располагать тарировочным графиком «интенсивность деформаций — твердость». Тарировочный график строился по результатам испытания цилиндрических образцов из исследуемого материала (сталь 15Х) на осевое сжатие и последующего измерения твердости сжатых до различной степени деформации образцов. Сжатие тарировочных образцов производилось со смазкой торцов пастой из коллоидного графита и глицерина с использованием свинцовой фольги. Твердость измерялась по Бринеллю в 4—5 точках меридионального сечения осажённых образцов шариком с диаметром 5 мм под нагрузкой 500 кг.

Для испытания было изготовлено 9 цилиндров из стали 15Х, размеры которых приведены в табл. 1. Коэффициент торможения, указанный в таблице, определяется отношением ширины кольца к его высоте

$$m = \frac{D_0 - d_0}{2h_0}, \quad (1)$$

где h_0 , d_0 и D_0 — соответственно высота, внутренний и наружный диаметры образца до деформирования.

Деформирование образцов осуществлялось на 500-тонном гидравлическом прессе. Осадка осуществлялась между сухими калеными плитами.

Таблица 1

| № образца | Размеры до осадки, мм | | | Коэффициент торможения, m | Осадка, % | Окружная деформация | | Погрешность, % |
|-----------|-----------------------|-------|-------|-----------------------------|-----------|------------------------|-------------|----------------|
| | D_0 | d_0 | H_0 | | | найденная по твердости | фактическая | |
| 1 | 58 | 18 | 30 | 0,666 | 10 | 0,038 | 0,050 | 24 |
| 2 | 58 | 18 | 30 | 0,666 | 20 | 0,030 | 0,104 | 23 |
| 3 | 58 | 18 | 30 | 0,666 | 30 | 0,107 | 0,140 | 22 |
| 4 | 58 | 18 | 22 | 0,886 | 10 | 0,050 | 0,057 | 12 |
| 5 | 58 | 18 | 22 | 0,886 | 20 | 0,123 | 0,124 | 8 |
| 6 | 58 | 18 | 22 | 0,886 | 30 | 0,100 | 0,174 | 40 |
| 7 | 58 | 30 | 30 | 0,500 | 10 | 0,034 | 0,042 | 21 |
| 8 | 58 | 30 | 30 | 0,500 | 20 | 0,093 | 0,106 | 12 |
| 9 | 58 | 30 | 30 | 0,500 | 30 | 0,133 | 0,137 | 3 |

Образцы, имеющие одинаковый коэффициент торможения, осаживались на 10, 20 и 30%. Затем они разрезались вдоль среднего по высоте сечения. Полученная поверхность шлифовалась и в 18—20 ее точках при тех же условиях, что и при испытании тарировочных образцов, измерялась твердость. По твердости из тарировочного графика «твердость—интенсивность деформаций» определялась величина интенсивности деформаций — e_i .

Возможность определения e_i по твердости деформированного тела показана в работе [5].

При определении деформаций вдоль горизонтальной оси симметрии осажённых цилиндров решается система уравнений [4]

$$\left. \begin{aligned} e_r^2 + e_\varphi^2 + e_r e_\varphi &= \frac{3}{4} e_i^2 \\ \frac{de_\varphi}{dr} &= \frac{e_\varphi - e_r}{r} \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

Расшифровка выполнялась по методике, изложенной в работе [4]. В качестве начального условия использовались деформации на внутренней поверхности, определяемые по соотношению

$$e_\varphi = \ln \frac{R}{R_0}.$$

где R_0 и R — радиусы внутренней поверхности образца до и после деформации. Радиальная деформация на внутренней поверхности отыскивается решением первого из уравнений (2).

Методика численного интегрирования указанной системы запрограммирована на ЦВМ «Минск-1». Простота эксперимента и автоматизация расшифровки его результатов позволили изучить деформированное состояние в зависимости от величины осадки и размеров исследованных цилиндров. Полученные эпюры деформаций приведены на рис. 1, 2, 3 (у кривых указаны номера образцов).

Во всех случаях наблюдается значительная неравномерность радиальной деформации e_r . Эпюра радиальной деформации имеет макси-

мум вблизи внутренней поверхности и убывает к периферии. С увеличением степени деформации неравномерность радиальной деформации возрастает.

Следует отметить, что, как и при осадке сплошных цилиндров, окружные деформации не равны радиальным [7]. Наибольшее расхожде-

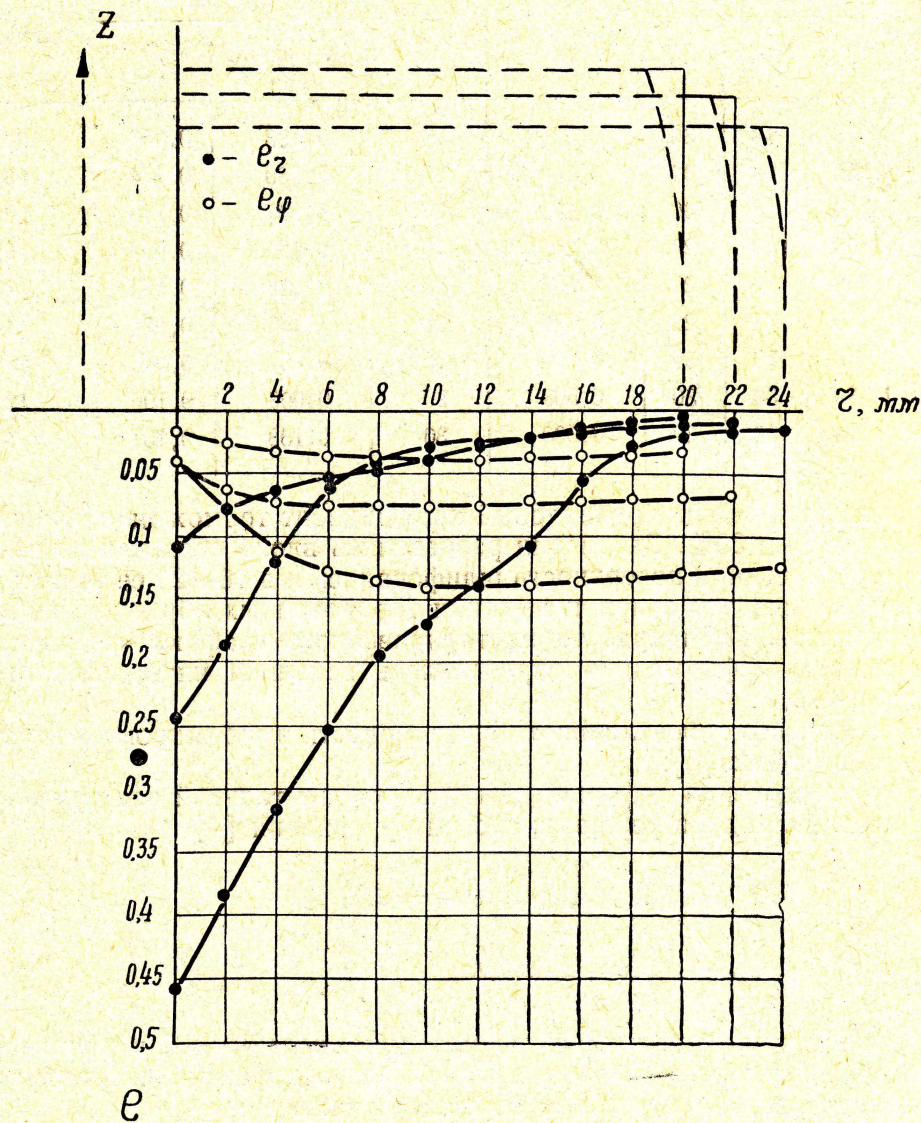


Рис. 1

ние наблюдается на внутренней поверхности и достигает 90%. Несовпадение радиальной и окружной деформаций означает, что гипотеза Хара-Кармана о равенстве окружного напряжения одному из главных напряжений в меридиональных плоскостях в данных условиях находится в противоречии с экспериментом. Окружные деформации распределяются более равномерно.

Величина окружной деформации на внутренней поверхности близка к нулю и с увеличением степени деформации почти не изменяется. Лишь у образца № 6 при 30%-й осадке наблюдалось затекание внутренней полости ($e_\phi < 0$). Полученные данные о затекании внутренней полости согласуются с данными Л. А. Шофмана [1]. В направлении к наружной поверхности окружная деформация монотонно возрастает. С увеличе-

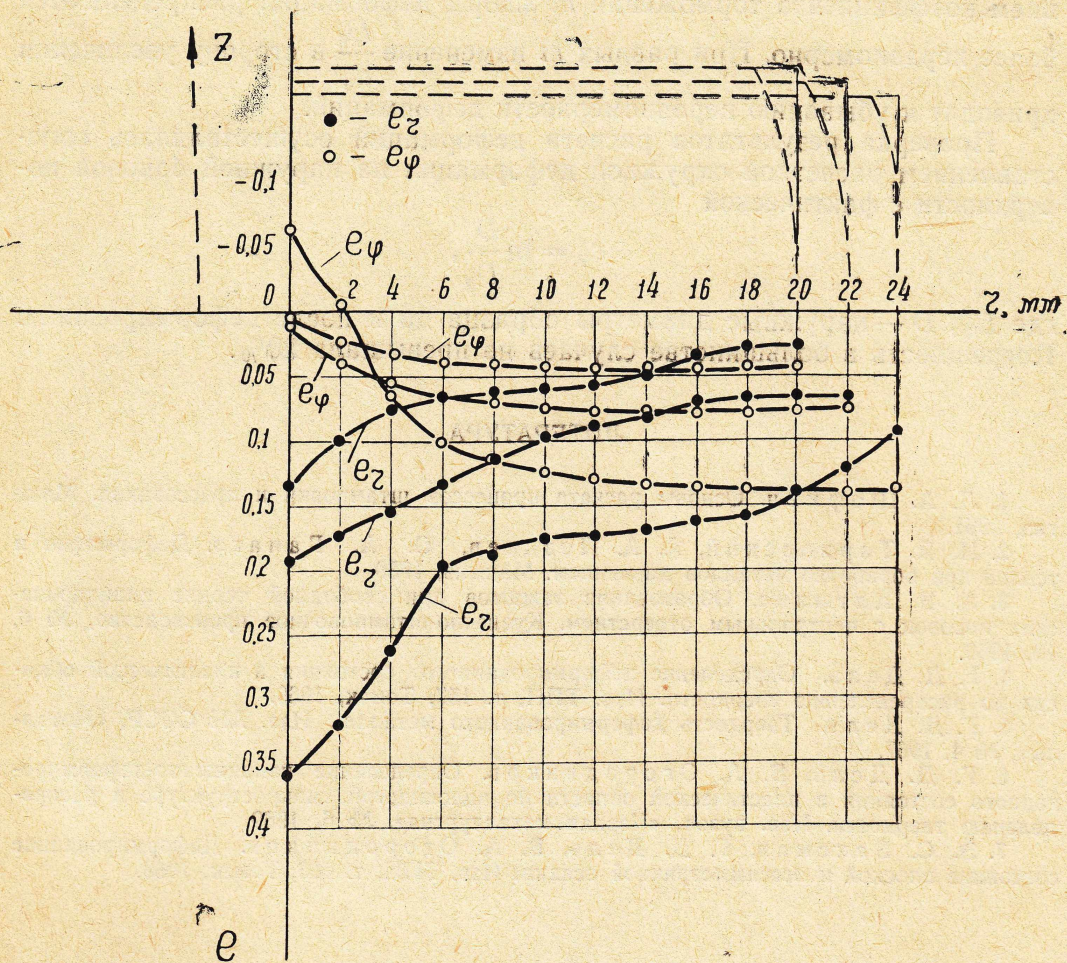


Рис. 2

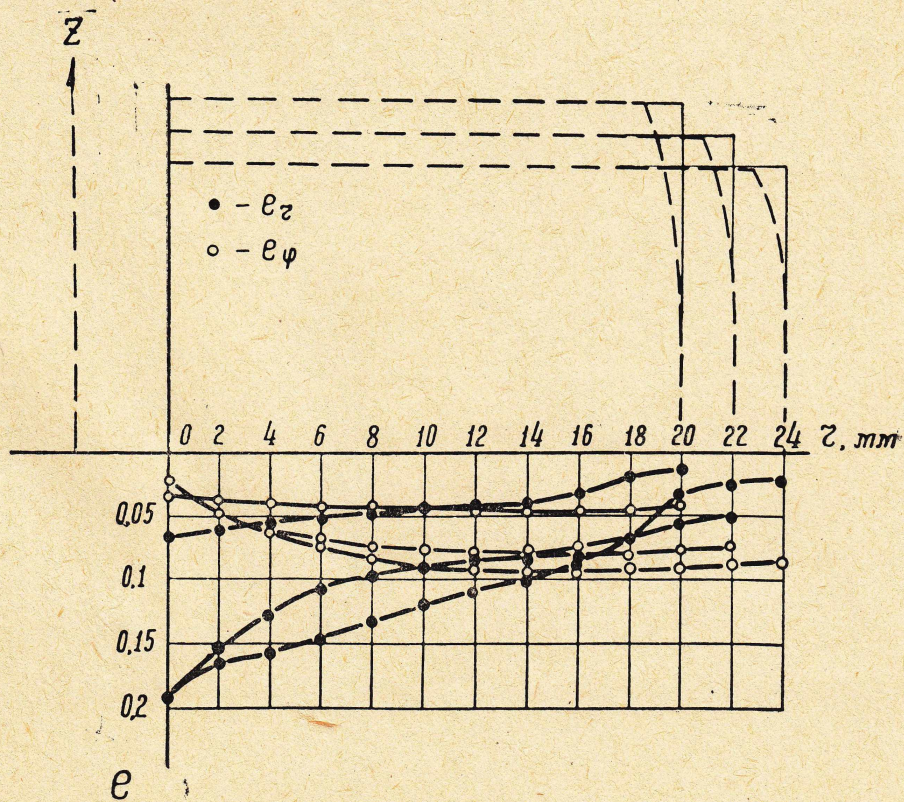


Рис. 3

нием коэффициента торможения m эпюры деформаций распределяются более неравномерно. При равных m изменение $\frac{D_0}{d_0}$ в сторону увеличения приводит к убыванию неравномерности деформаций.

Проверка результатов расчета деформаций осуществлялась сопоставлением расчетной окружной деформации на наружной боковой поверхности с фактической

$$e_\varphi = \ln \frac{D}{D_0},$$

где D_0 , D — наружные диаметры образца до и после деформирования. Погрешность в большинстве случаев не превышала 20%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Шофман. Основы расчета процессов штамповки и прессования. Машгиз, 1961.
2. И. Я. Тарновский, А. А. Поздеев, О. А. Ганаго. Деформации и усилия при обработке металлов давлением. Машгиз, 1959.
3. А. В. Алтыкис. Образование зажимов при свободной осадке цилиндрических поковок с центральным отверстием. Кузнечно-штамповочное производство, № 6, 10, 1960.
4. Г. Д. Дель. Определение деформированного состояния в пластической области по распределению твердости. Изв. ТПИ, т. 157, Томск, 1969.
5. Г. Д. Дель. Твердость деформированного металла. Изв. АН СССР, «Металлы», № 4, 1967.
6. Г. Д. Дель, В. А. Огородников. Определение напряженно-деформированного состояния в пластической области по волокнистой макроструктуре и распределению твердости. Изв. вузов, «Черная металлургия», № 6, 1969.
7. Э. С. Ваксман, Г. Д. Дель, В. А. Огородников. Деформированное состояние плоской и осесимметричной осадки. Изв. ТПИ, т. 183, Томск, 1968.